



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## KONSTRUKČNÍ NÁVRH PRŮBĚŽNÉHO MÍSIČE O VÝKONU 1-3 TUN/HOD

THE DESIGN OF SAND MIXER WITH OUTPUT RANGE 1-3 TPH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ VLK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK BRADÁČ, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Vlk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Konstrukční návrh průběžného mísiče o výkonu 1-3 tun/hod**

v anglickém jazyce:

### **The design of sand mixer with output range 1-3 TPH**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proved'te 3D konstrukční návrh části průběžného mísiče pro přípravu formovací směsi ve slévárenství. Podrobněji rozpracujte výrobní výkresy vybraných komponent.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte 3D model části průběžného mísiče pro přípravu formovací směsi ve slévárenství.
2. Proved'te základní výpočty vybraných funkčních částí zařízení.
3. Podrobněji rozpracujte výrobní výkresy vybraných komponent.

Seznam odborné literatury:

Chrást, Jaroslav., Slévárenská zařízení/.Brno :CERM,2006. 1. vyd. 256 s. ISBN 80-7204-456-7  
Internetové zdroje  
Firemní materiály

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Bradáč, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 26.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá podrobným návrhem průběžného mísiče. Toto zařízení slouží k přípravě formovacích směsí na bázi písku ve slévárenství. V práci jsou podrobně rozpracovány jednotlivé uzly zařízení z hlediska konstrukce. Výsledkem práce je 3D model celého zařízení a výkresy vybraných částí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Průběžný mísič, pohon, mísicí hřídel, rám, pružná spojka

## **ABSTRACT**

This thesis follows up detailed design of continuous mixer. This device is used for creation of a molding mixture that is sand based and used in foundry. There are developed individual device knots from the perspective of construction, in this thesis. The result of the thesis is a 3D model of entire device and drawings of selected parts.

## **KEYWORDS**

Continuous mixer, drive, mixing shaft, frame, flexible clutch



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VLK, T. Konstrukční návrh průběžného mísiče o výkonu 1-3t/hod. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 37 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Bradáč, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Františka Bradáče, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15. května 2013

.....

Tomáš Vlk



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D. za jeho pomoc při tvorbě této bakalářské práce.



## OBSAH

Úvod.....	9
1 Přehled současného stavu .....	10
2 Vymezení cílů práce.....	12
3 Návrh postupu řešení.....	13
4 Konstrukční řešení .....	14
4.1 Výpočet a volba průměru hřídele .....	14
4.2 Volba pohonu .....	15
4.3 Přenos kroutícího momentu.....	17
4.4 Uložení hřídele .....	18
4.5 Jednotlivé konstrukční uzly.....	19
4.5.1 Rám.....	19
4.5.2 Stojan .....	21
4.5.3 Lopatky .....	22
4.5.4 Mísící hřídel .....	24
4.5.5 Mísící komora.....	30
4.5.6 Násypka a výsypka .....	31
4.5.7 Opláštění .....	31
Závěr .....	33
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	35
Seznam příloh.....	37



## ÚVOD

Odlévání patří mezi nejrozšířenější a zároveň ekonomicky nejvýhodnější způsoby výroby strojních součástí. Mezi hlavní výhody patří schopnost výroby odlitků velmi složitých tvarů nebo velkých rozměrů. Výroba finálního odlitku se skládá z několika kroků. Nejprve je vyrobena forma, která kopíruje negativní tvar modelu, forma se vytváří ručně nebo častěji strojově. V dalším kroku se do formy umístí jádro. Následuje samotné odlévání, kdy se do nachystané formy nalije roztavený kov. Po zatuhnutí dochází k odstranění vtokové a výfukové soustavy. V posledním kroku se odstraní nečistoty jako například zbytky formovací směsi a hrubý odlitek se opracovává do finální podoby. Použitá formovací směs se vytluče z formy a po regeneraci se může znovu použít. [1]

Z toho tedy plyne, že příprava kvalitní formovací směsi patří mezi hlavní kroky při výrobě kvalitního odlitku. Aby formovací směs měla ty správné parametry, používá se k její přípravě zařízení navrhované v této práci – průběžný mísič. V tomto zařízení dochází k promíchávání formovací směsi za současného zvlhčování a tím směs získává správnou konzistenci pro tvorbu kvalitní formy. Díky tomu se vytváří ideální podmínky pro tvorbu odlitku skvělé jakosti.



# 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

V současnosti se v praxi nejčastěji používají průběžné mísiče dvou konstrukcí:

- Jednoramenné
- Dvouramenné

Jednoramenné průběžné mísiče jsou využívány především pro menší požadované dopravní výkony. Jejich výhodou je kompaktní velikost a jednodušší konstrukce. Dvouramenné se skládají ze dvou ramen, kde první rameno je tvořeno například pásovým dopravníkem pro dopravu směsi do mísiče a druhé rameno je tvořeno samotným mísičem. Výhodou této koncepce je vyšší dopravované množství a zároveň větší rozsah pohybu kvůli přidavnému ramenu. Díky tomu je schopen plnit formy větších rozměrů.

Ukázka a přehled základních parametrů strojů od nejznámějších výrobců:



*Obr. 1-1 Jednoramenný mísič od společnosti Palmer s označením M200XLD [2]*



*Obr. 1-2 Dvouramenný mísič od společnosti Palmer s označením M3000XLD [2]*

*Tab. 1 Přehled parametrů vybraných strojů společnosti Palmer [2]*

<b>Označení</b>	<b>Dopravní výkon</b>	<b>Délka komory</b>	<b>Vnitřní průměr komory</b>	<b>Výkon motoru</b>	<b>Průměr mísící hřídele</b>
Jednotka	[t/hod]	[mm]	[mm]	[kW]	[mm]
M200XLD	1,92 - 6,84	1041	142	3,73	64
M3000XLD	54,4 - 136,1	2743	364	37,3 - 74,6	152



## 2 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem práce je konstrukční návrh a tvorba 3D modelu průběžného mísiče o výkonu 1-3t/hod používaného pro přípravu formovací směsi ve slévárenství. Součástí práce jsou základní výpočty potřebné pro určení hlavních rozměrů, ze kterých se bude vycházet při konstrukci celého zařízení. Dále bude provedena pevnostní analýza vybraných konstrukčních uzlů pomocí metody konečných prvků a její vyhodnocení. Na závěr bude zpracována výkresová dokumentace určených součástí a sestav.



### 3 NÁVRH POSTUPU ŘEŠENÍ

Při návrhu zařízení byly nejprve zpracovány výpočty, které slouží k určení základních rozměrů zařízení. Na základě těchto výsledků dochází k volbě vhodného pohonu. V dalším kroku je potřeba určit způsob, jakým bude docházet k přenosu krouticího momentu z pohonu k funkčním částem zařízení, konkrétně k mísící hřídeli.

Dále je potřeba vyřešit způsob vhodného uložení hřídele. Také je nutné zvolit optimální tvar a způsob konstrukce lopatek pro co nejlepší promíchávání směsi a jejich připevnění k mísící hřídeli. Poté je třeba vyřešit konstrukci mísící komory, která musí být z důvodu častého čištění snadno přístupná. Po návrhu hlavních součástí je třeba provést pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků a na závěr vytvořit výkresovou dokumentaci.



## 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro tuto práci bylo zvoleno konstrukční řešení jednoramenného průběžného mísiče s jednou mísicí hřídelí. Tento typ konstrukce se používá pro menší požadovaný výkon.

### 4.1 VÝPOČET A VOLBA PRŮMĚRU HŘÍDELE

Při výpočtu základních rozměrů bylo vycházeno z podobnosti se šnekovým dopravníkem, konkrétně ze vzorce pro výpočet objemového množství šnekového dopravníku z literatury [3]:

$$Q_V = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \quad (1)$$

kde:

$Q_V$  [ $m^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ ] – objemové množství

$D$  [mm] – vnější průměr mísicího hřídele

$s$  [mm] – stoupání šnekovice – ve většině případů se volí  $s = D$  [3]

$\Psi$  [-] – součinitel plnění

$n$  [ $s^{-1}$ ] – otáčky hřídele

$c_H$  [-] – součinitel naklonění dopravníku

Nejprve však bylo třeba vypočítat objemové množství ze zadaného dopravního výkonu [3]:

$$Q_V = \frac{Q}{\rho} \quad (2)$$

kde:

$Q_V$  [ $m^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ ] – objemové množství

$Q$  [ $kg \cdot \text{hod}^{-1}$ ] – dopravní výkon – zadáno  $1 - 3t \cdot \text{hod}^{-1} \Rightarrow$  zvoleno  $3t \cdot \text{hod}^{-1} = 3000kg \cdot \text{hod}^{-1}$

$\rho$  – hustota přepravovaného materiálu – hustota písku  $\rho = 1400-1650kg \cdot m^{-3} \Rightarrow$  zvoleno  $1650kg \cdot m^{-3}$  [4]

$$Q_V = \frac{3000 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}}{1650 \text{ kg} \cdot m^{-3}}$$

$$Q_V = 1,765 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$$

Poté byl ze vzorce (1) vyjádřen vzorec pro výpočet vnějšího průměru hřídele



$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q_V}{3600 \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}}$$

kde:

D [mm] – vnější průměr mísícího hřídele

$Q_V$  [ $m^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ ] – objemové množství vypočtené ze vzorce (2)

$\Psi$  [-] – součinitel plnění – zvoleno zaplnění 45%  $\Rightarrow \Psi = 0,45$  [3]

$n$  [ $s^{-1}$ ] – otáčky hřídele – na základě doporučení vedoucího zvoleno  $n = 7s^{-1}$

$c_H$  [-] – součinitel naklonění dopravníku – zvolen součinitel pro naklonění menší než  $5^\circ$ , které by mohlo být způsobeno průhybem mísiče v důsledku zatížení  $c_H = 0,9$  [3]

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,765 m^3 \cdot \text{hod}^{-1}}{3600 \cdot 0,45 \cdot 7 s^{-1} \cdot 0,9}}$$

$$D = 0,088 \text{ mm}$$

**Vnější průměr hřídele byl zvolen  $D = 110\text{mm}$**

**Malý průměr hřídele byl zvolen  $d = 50\text{mm}$**

## 4.2 VOLBA POHONU

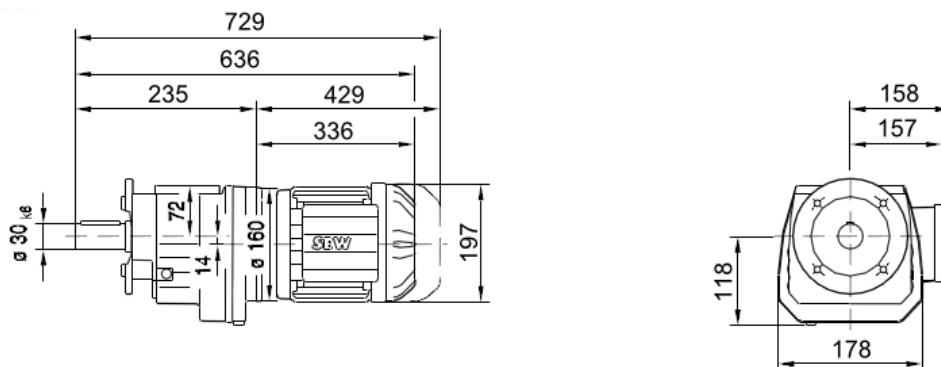
Jako pohon byl zvolen trojfázový asynchronní elektromotor od firmy SEW Eurodrive. Tato společnost patří mezi největší výrobce elektromotorů a tím pádem poskytuje velkou možnost výběru přesných parametrů, které nejlépe splňují požadavky tohoto zařízení.

Hlavní parametr, na základě kterého se provádí výběr konkrétního typu motoru, je jeho výkon. Výkon byl zvolen na základě podobnosti s v praxi používanými průběžnými mísiči. Jako referenční mísič byl vybrán mísič od společnosti PALMER [2] a to typ s označením MX100XLD, který má podobné parametry jako navrhovaný mísič (například průměr mísící komory 120mm a objemový výkon  $1,5 - 4,5t \cdot \text{hod}^{-1}$ ). Tento mísič pohání motor o výkonu 5HP, což je přibližně 3,7kW. Na základě této hodnoty byl zvolen elektromotor o výkonu 4kW.



Označení zvoleného elektromotoru:

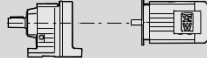
**RF 47 DRS 100LC2 43**



Obr. 4-1 Schéma se základními rozměry [5]

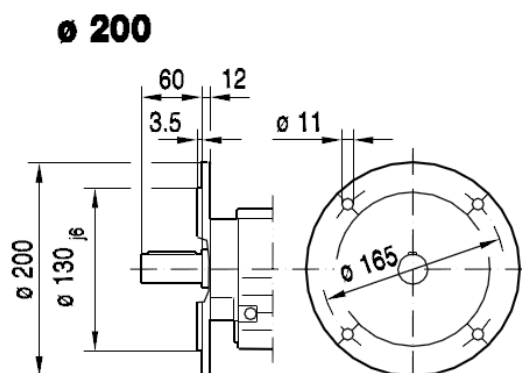
Základní parametry:

Tab. 1 Základní parametry elektromotoru[5]

$P_m$ [kW]	$n_a$ [1/min]	$M_a$ [Nm]	$i$	$F_{Ra}^{(1)}$ [N]	SEW $f_B$		$m$ [kg]
4.0	416	92	6.96	2190	1.75	RF 47 DRS 100LC2	43

Součástí vybraného elektromotoru je i čelní ozubená převodovka, která má převodový poměr  $i = 6,96$ .

Firma SEW nabízí své elektromotory s různými variantami možnosti uchycení - například pomocí příruby, patek nebo speciální prodloužené příruby. Pro tuto konstrukci byla vybrána varianta s klasickou přírubou.



Obr. 4-2 Schéma připojovacích rozměrů elektromotoru [5]



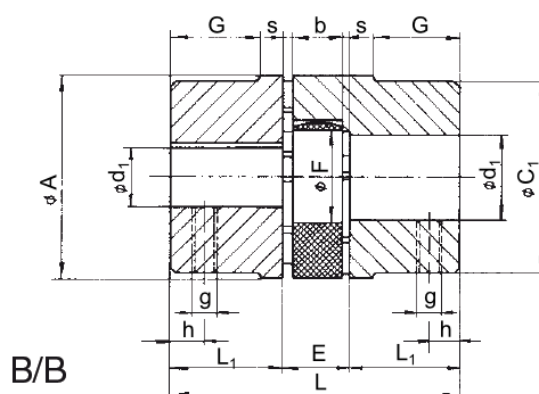
### 4.3 PŘENOS KROUTÍCÍHO MOMENTU

Pro přenos kroučícího momentu byla zvolena pružná spojka od výrobce T. E. A. Technik [6]. Pružná spojka byla zvolena pro její schopnost tlumení vibrací a především pro schopnost vyrovnávat malé úhlové odchylky mezi spojovanými hřídeli, jelikož při chodu zařízení může docházet k malému průhybu mísícího hřídele v důsledku zatížení.

Spojka se skládá ze dvou litinových nábojů, mezi kterými je umístěn pružný střed z termoplastu o tvrdosti 94° Shore.

Přenos kroučícího momentu je realizován pomocí těsných per. Spojka je proti pootočení zajištěna pojistným šroubem na každém náboji.

Zvolená spojka nese označení GE-T 28-38.



Obr. 4-3 Schéma pružné spojky s rozměrovými kótami [6]

Tab. 2 Přehled rozměrů vybrané spojky [6]

Materiál: Litina

Obj. číslo	Vrtání <sup>(9)</sup>		Rozměry [mm]										Hmotnost [kg]		
	Náboj A d max.	Náboj B d1 max.	L <sub>1</sub>	A	E <sup>(1)</sup>	F	C	C <sub>1</sub>	b	G	s	L	Pružný střed	Náboj A	Náboj B
GE-T 28-38_	28	38	35	65	20	30	48	65	15	27,5	2,5	90	0,025	0,60	0,85

Hlavní požadavek na spojku je přenesení požadovaného kroučícího momentu. Kroučící moment vyvolaný elektromotorem je 92N·m. Maximální kroučící moment, který je schopna spojka přenést, je 190N·m, viz tab. 3. Spojka tak splňuje požadované vlastnosti.

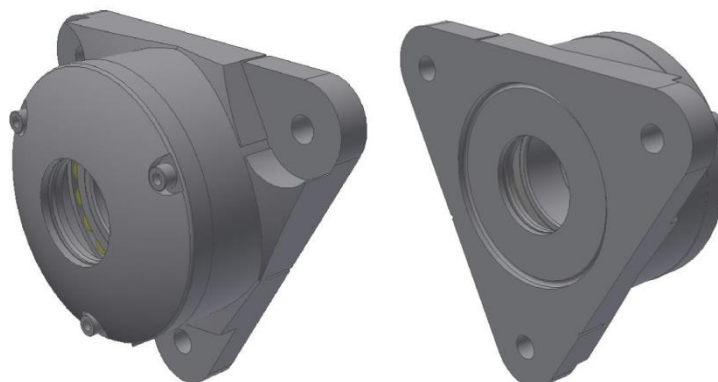


Tab. 3 Únosnost pružné spojky [6]

Pružný střed	Velikost spojky	Kroučící moment [Nm]		
		nominální $T_{KN}$	max. $T_{Kmax}$	střídavý $T_{KW}$
94° Shore	28/38	95	190	25

#### 4.4 ULOŽENÍ HŘÍDELE

Pro uložení hřídele byla zvolena domečková ložiska s patkami od firmy SKF s označením 1210EKTN9. Jedná se o dvouřadá naklápěcí kuličková ložiska. Tento typ byl zvolen vzhledem ke schopnosti vyrovnávat malé axiální odchylky, ke kterým může dojít při průhybu mísícího hřídele v důsledku zatížení. Provádět výpočet životnosti ložiska není nutný z důvodu práce ve vysoce prašném prostředí, kdy dochází k výměně ložisek dlouho před jejich vypočtenou životností.



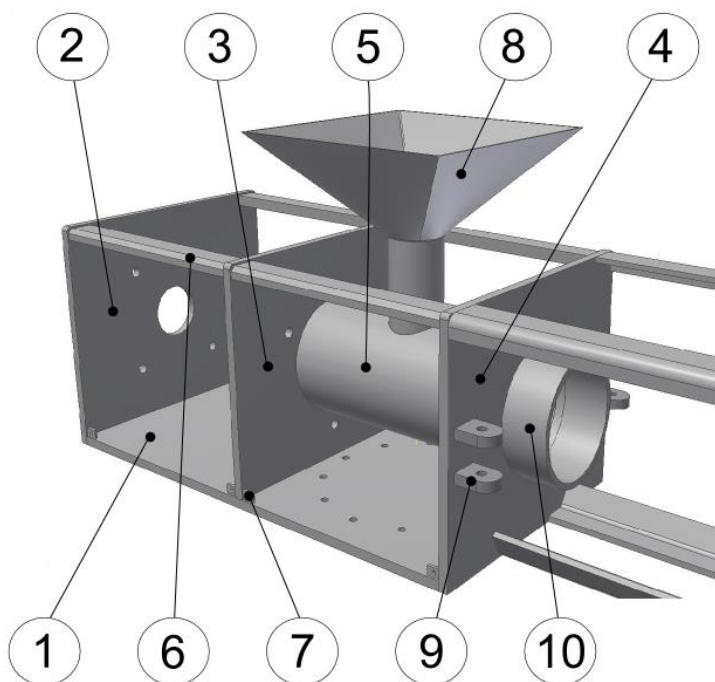
Obr. 4-4 Domečkové ložisko SKF 1210EKTN9



## 4.5 JEDNOTLIVÉ KONSTRUKČNÍ UZLY

### 4.5.1 RÁM

Konstrukce rámu patří mezi nejdůležitější prvky celého zařízení. Slouží jako nosný prvek pro většinu součástí nutných k funkci zařízení jako například motor, spojka a mísící hřídel (uchycená pomocí ložisek). Samotný rám je vyroben jako svařovaná sestava. Je tvořena plechy o tloušťce 10 mm a vyztužena plochými tyčemi (pozice 6) o rozměru 30x15 mm. Tyto tyče mají sraženou vnější hranu pro lepší dosednutí opláštění. V základním plechu (pozice 1) jsou vyvrtány otvory pro šrouby M16, přes které je rám připevněn ke stojanu. V bočním plechu (pozice 2) jsou vyvrtány otvory pro šrouby M10 k připevnění motoru. Mezi plechy (pozice 3 a 4) je navařena trubka, která slouží jako část mísící komory. V trubce (pozice 5) je vyvrtán otvor a k tomuto otvoru je navařena násypka (pozice 8). Na boční plech (pozice 4) jsou dále navařeny plechy tloušťky 10 mm (pozice 9), které slouží jako příprava pro připevnění pantů, které budou sloužit k otevírání mísící komory. Trubka (pozice 10) slouží jako další část mísící komory, která je tu z důvodu lepšího dosednutí krytu mísící komory.

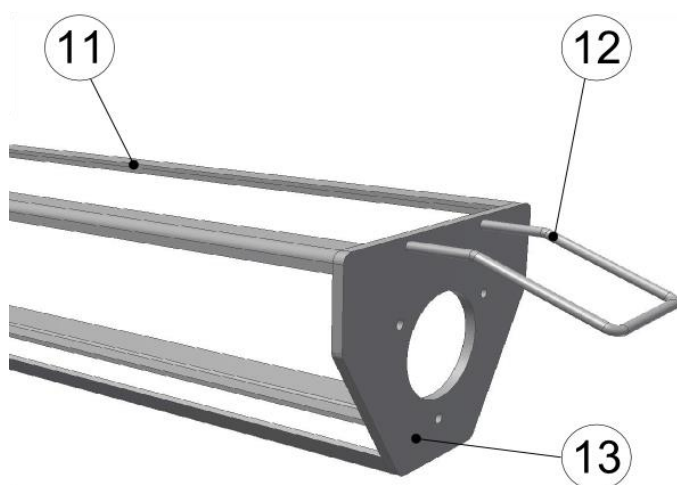


Obr. 4-5 Detail rámu č. 1 s pozicemi

Ve středním plechu (pozice 3) jsou vyvrtány otvory pro připevnění domečkového ložiska. Malé plechy (pozice 7) s navařenou maticí M4 slouží k připevnění plechového krytu rámu. Ohnuté plechy (pozice 11) tloušťky 8 mm slouží jako vedení mísící komory. Na jejich konci je přivařen další plech tloušťky 10 mm (pozice 13) s otvory pro připevnění druhého

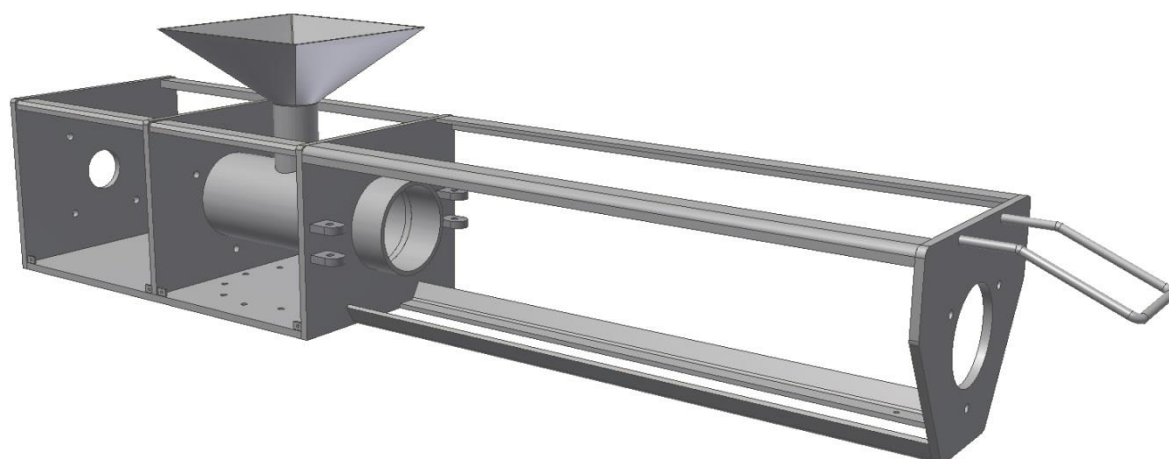


domečkového ložiska. Na tento plech je také navařen držák (pozice 12) pro manipulaci s mísičem.



*Obr. 4-6 Detail rámu č. 2 s pozicemi*

Všechny součásti rámu byly vytvořeny z materiálu 1.0036 (11373 dle starého značení). Jedná se o konstrukční ocel se zaručenou svařitelností, vhodnou pro plechy na strojní konstrukce [7].

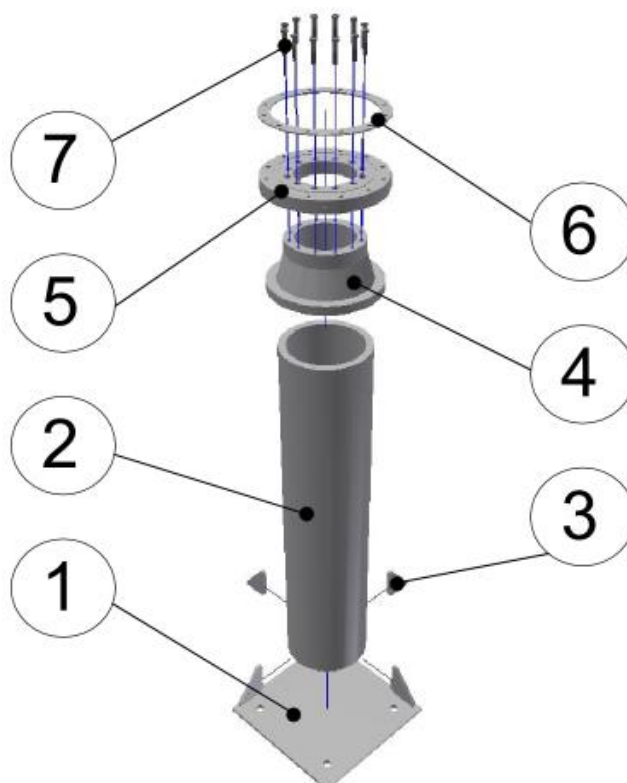


*Obr. 4-7 Pohled na celý rám*



#### 4.5.2 STOJAN

Stojan je další klíčovou součástí celé sestavy, protože právě na něm leží váha celého zařízení. Základem stojanu je podstavec (pozice 1), který je tvořen plechem tloušťky 10 mm. Podstavec slouží k ukotvení zařízení k zemi. Na podstavec je navařena silnostěnná trubka (pozice 2) o průměru 194x16 mm. Kvůli větší tuhosti jsou po stranách trubky navařena čtyři žebra (pozice 3). Na trubku je dále navařena příruba (pozice 4) se zkoseným hrdlem. Důvod proč je hrdlo zkosené, je umožnění montáže křížového ložiska.



Obr. 4-8 Rozklad sestavy stojanu

Jelikož je na zařízení kladen požadavek, aby bylo umožněno jeho otáčení v ose stojanu, bylo potřeba do této sestavy umístit element, který by tento pohyb umožňoval. K tomuto účelu bylo zvoleno křížové ložisko (pozice 5). Konkrétně byl zvolen typ RU178G od společnosti THK.



Obr. 4-9 Křížové ložisko RU178G [8]



Výhodou tohoto konkrétního modelu je jeho snadná montáž díky otvorům vyvrtaným v obou krouzcích ložiska. Tím odpadá potřeba použít přítlačné příruby.

Tab. 4 Základní parametry křížového ložiska [9]

Označení modelu	Hlavní rozměry			Základní radiální únosnost	
	Vnitřní průměr	Vnější průměr	Šířka	Dynamická únosnost	Statická únosnost
	mm	mm	mm	kN	kN
RU 178G	115	240	28	80.3	135

### 4.5.3 LOPATKY

Při návrhu lopatek bylo vycházeno z tvarů v praxi používaných mísičů. Samotná lopatka se skládá ze dvou hlavních částí – stopky a hlavy lopatky. Stopka slouží k uchycení lopatky ke hřídeli a zároveň k připevnění hlavy lopatky. Hlava lopatky potom vykonává samotné míchání směsi. Polotovarem pro výrobu stopky je kruhová tyč o průměru 16 mm. Na její spodní části je obroben závit, díky kterému je přes matici realizováno spojení s hřídelí. Na střední části stopky je zkosení pro lepší dosednutí do otvoru ve hřídeli. Na horní straně stopky je vyfrézováno vybrání, na které dosedá hlava lopatky. Ta je ke stopce přišroubována dvěma šrouby. Hlava lopatky je vypálena z plechu.



Obr. 4-10 Přehled jednotlivých částí lopatky



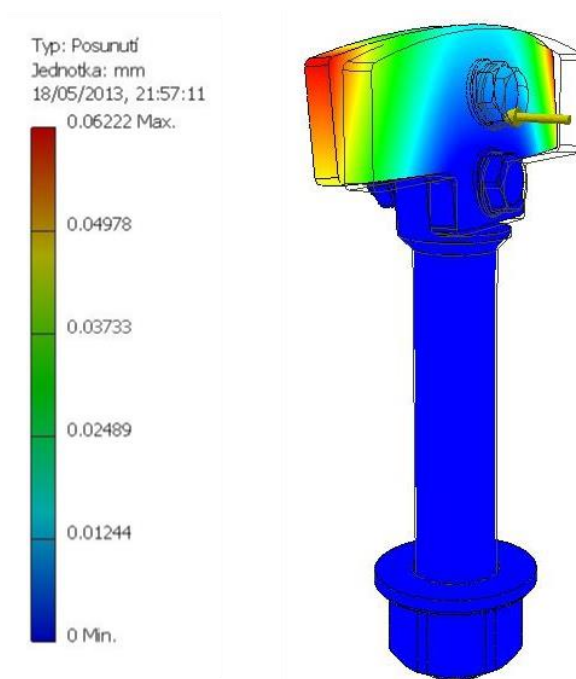
Pro výrobu stopky byl zvolen materiál 1.7131 (14 220 dle starého značení). Tento materiál se vyznačuje dobrou obrobitelností a velkou pevností. Využívá se například pro výrobu menších hřídelů, pístních čepů, upínacího nářadí [7].

Materiál hlavy lopatky byl zvolen 1.4031 (17 024 dle starého značení). Pro tento materiál je typická odolnost proti korozi, což je vhodné z důvodu používání lopatky v korozivním prostředí. Další důležitou vlastností tohoto materiálu je vysoká odolnost proti otěru [7].



Obr. 4-11 Pohled na sestavu lopatky

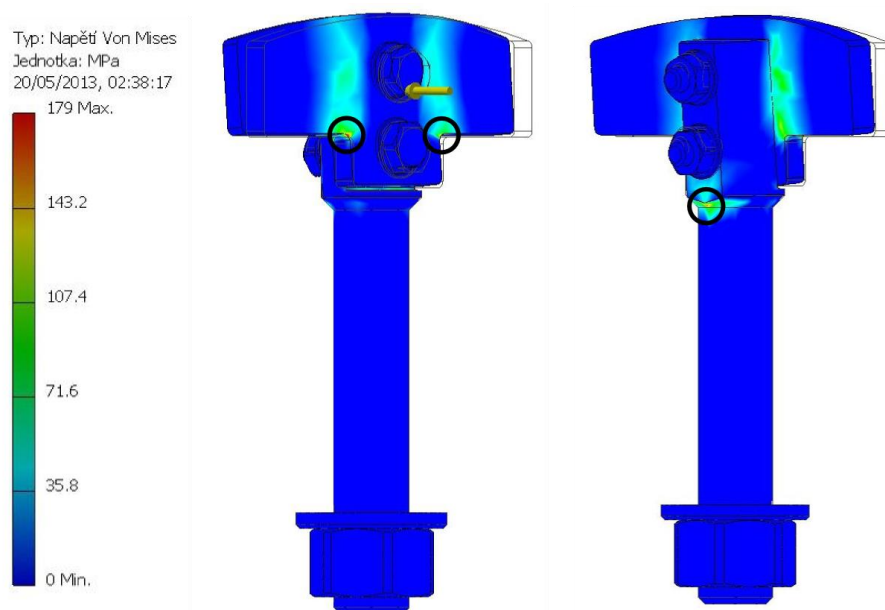
Pevnostní kontrola lopatky byla provedena pomocí metody konečných prvků v programu Inventor 2013. V simulaci na lopatku působí jedna síla, která je vyvolána momentem motoru na ramenu od středu lopatky po její okraj. Tímto způsobem je simulována situace, kdy by došlo k zaseknutí lopatky například o nějaký větší element míchané směsi a v tom okamžiku by jedna lopatka přenášela celý moment od motoru.



Obr. 4-12 Výsledek simulace zatížení lopatky - posunutí



Z obrázku lze vyčíst, že maximální posunutí lopatky v případě maximálního zatížení je 0,062 mm.

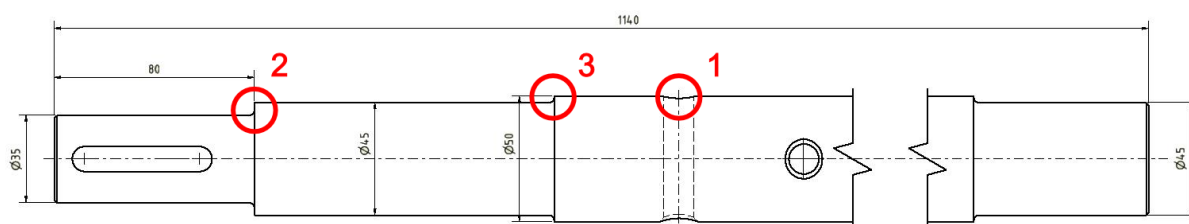


Obr. 4-13 Výsledek simulace zatížení lopatky - napětí

Na druhém obrázku jsou naznačena místa, kde na lopatce dochází k největší koncentraci napětí. Napětí v těchto místech dosahuje hodnoty 179 MPa.

#### 4.5.4 MÍSICÍ HŘÍDEL

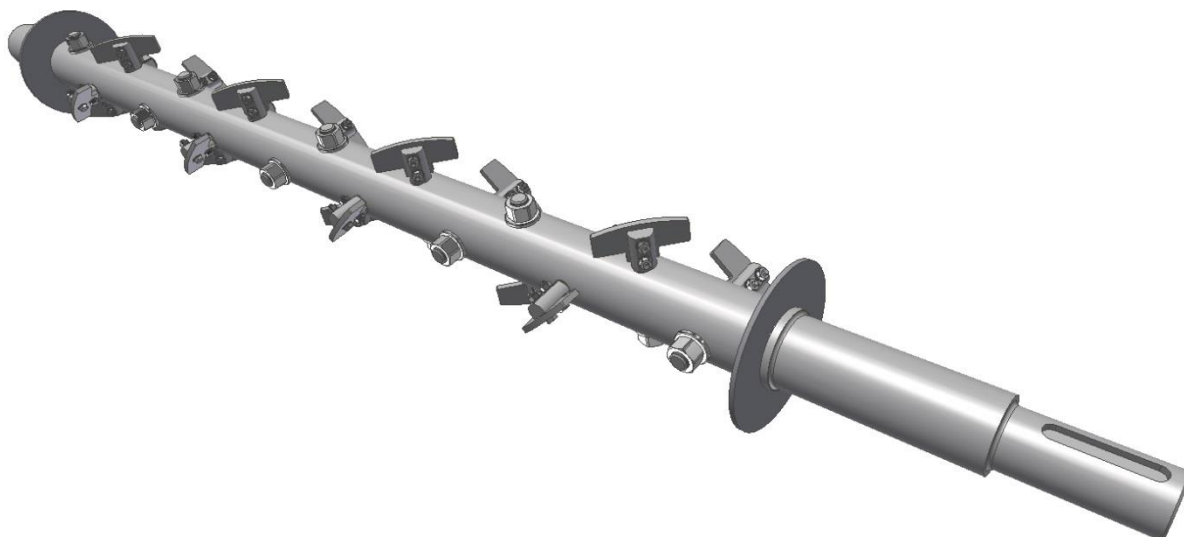
Jedná se o součást, která vykonává hlavní funkční pohyb celého zařízení. Polotovarem je kruhová tyč průměru 50 mm. Na největším průměru jsou vyvrtány otvory pro připevnění lopatek. Celkem je zde umístěno šestnáct otvorů ve dvou rovinách pootočených vůči sobě o 90°. Na dalším funkčním průměru o rozměru 45 mm jsou umístěna domečková ložiska, přes která je hřídel připevněna k rámu. Válcový konec hřídele má průměr 35 mm a je na něm vyfrézována drážka pro pero 10x8x56 ČSN 02 2562 [7]. Přes toto pero je na hřídel připevněna pružná spojka, přes kterou dochází k přenosu kroutícího momentu. Na obou okrajích největšího průměru jsou navařeny krycí plechy, které brání pronikání prachu a nečistot do ložisek.



Obr. 4-14 Přehled hlavních rozměrů hřídele a vyznačení kritických míst



Pro mísící hřídel byl zvolen materiál 1.0050 (11 500 dle starého značení). Tento materiál je vhodný pro výrobu staticky i dynamicky namáhaných součástí [7].



*Obr. 4-15 Sestava mísícího hřídele*

#### **Pevnostní výpočet hřídele:**

Kontrola hřídele byla provedena na krut, který vyvolává kroučící moment od elektromotoru. Byla vybrána tři místa, ve kterých se dá očekávat největší možné napětí. Vypočtené hodnoty maximálních napětí jsou poté porovnávány s hodnotou dovoleného napětí. Dovolené napětí v krutu pro materiál 1.0050 a střídavé zatížení je 40 – 60 MPa [7]. Na základě toho je zvoleno  $\tau_D = 40$  MPa.

#### **Výpočet prvního kontrolovaného místa:**

Nejprve je proveden výpočet nominálního napětí v místě 1 (viz obr. 4-14) dle vzorce [10]:

$$\tau_{n1} = \frac{M_K}{W_{K1}} \quad (3)$$

kde:

$\tau_{n1}$  [MPa] – nominální napětí v krutu v místě 1

$M_K$  [N·mm] – kroučící moment vyvolaný elektromotorem –  $M_k = 92000$  N·mm

$W_K$  [mm<sup>3</sup>] – průřezový modul v krutu v místě 1



$$\tau_{n1} = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot D_1^3}{16} - \frac{\alpha_1 \cdot D_1^2}{6}}$$

$$\tau_{n1} = \frac{92000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\frac{\pi \cdot 50 \text{ mm}^3}{16} - \frac{2,8 \cdot 50 \text{ mm}^2}{6}}$$

$$\tau_{n1} = 3,94 \text{ MPa}$$

Po dosazení vychází nominální napětí v krutu v místě 1 - 3,94 MPa. Tuto hodnotu je nadále potřeba upravit součinitelem vrubu dle vzorce:

$$\tau_{extr.1} = \tau_{n1} \cdot \alpha_1 \quad (4)$$

kde:

$\tau_{extr.1}$  [MPa] - skutečné napětí v místě 1

$\alpha_1$  [-] – součinitel vrubu volený dle obr. 4-16 na základě výpočtu parametru dle vzorce (5)

$$\tau_{extr.1} = 3,94 \text{ MPa} \cdot 2,65$$

$$\tau_{extr.1} = 10,44 \text{ MPa}$$

### Určení součinitele vrubu v místě 1:

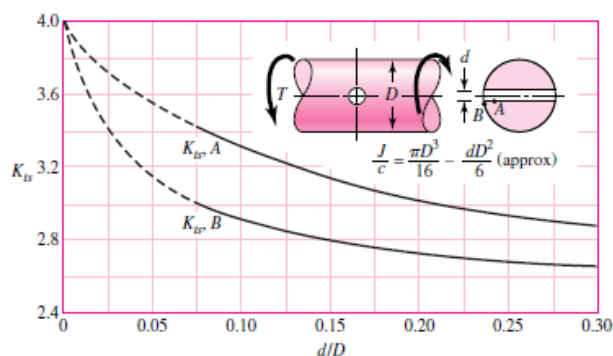
Jedná se o součinitel koncentrace pro hřídele s příčným vrtáním. Určuje se z grafu na základě parametru vypočítaného z geometrie součásti.

Určení parametru vrubu:

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{17 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,34 \quad (5)$$



Odečtení součinitele z grafu obr. 4-16 :



Obr. 4-16 Graf na určení součinitele koncentrace při namáhání krutem [10]

### Výpočet druhého vrtipovaného místa:

Výpočet je stejný jako u prvního místa, liší se pouze určením součinitele koncentrace.

$$\tau_{n2} = \frac{M_K}{W_{K2}}$$

$$\tau_{n2} = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot D_3^3}{16}}$$

$$\tau_{n2} = \frac{92000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\frac{\pi \cdot 35 \text{ mm}^3}{16}}$$

$$\tau_{n2} = 10,93 \text{ MPa}$$

$$\tau_{extr.2} = \tau_{n2} \cdot \alpha_2$$

kde:

$\alpha_2$  – součinitel koncentrace napětí v přechodu osazeného dřívku volený dle obr. 4-17 na základě vzorců (6) a (7)

$$\tau_{extr.2} = 10,92 \text{ MPa} \cdot 1,55$$

$$\tau_{extr.2} = 16,94 \text{ MPa}$$

### **Určení součinitele vrubu v místě 2:**

Jedná se o součinitel koncentrace v přechodu osazeného dřívku. Určuje se na základě dvou vypočtených hodnot dle geometrie součástí. Pomocí těchto dvou hodnot poté určíme velikost součinitele z grafu.



Určení prvního parametru vrubu:

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{45 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 1,29 \quad (6)$$

kde:

$D_2$  [mm] - větší průměr hřídele

$D_3$  [mm] – menší průměr hřídele

Určení druhého parametru vrubu:

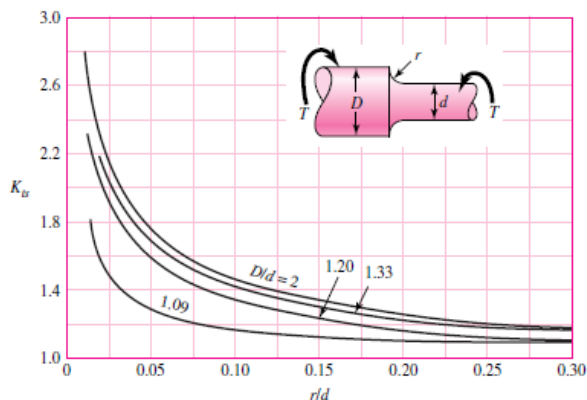
$$\frac{r_2}{D_3} = \frac{2 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 0,06 \quad (7)$$

kde:

$r_2$  [mm] – poloměr zaoblení

$D_3$  [mm] – menší průměr hřídele

Odečtení součinitele z grafu – obr. 4-17:



Obr. 4-17 Graf na určení součinitele koncentrace při namáhání krutem [10]

Na základě obrázku 4-17 bylo zvoleno  $\alpha_2 = 1,55$ .

### **Výpočet třetího vytipovaného místa:**

Výpočet je opět stejný jako u prvního a druhého místa, určení součinitele koncentrace je stejné jako u výpočtu místa 2.



Výpočet nominálního napětí v místě 3:

$$\tau_{n3} = \frac{M_K}{W_{K3}}$$

$$\tau_{n3} = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot D_3^3}{16}}$$

$$\tau_{n3} = \frac{92000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\frac{\pi \cdot 45 \text{ mm}^3}{16}}$$

$$\tau_{n3} = 5,14 \text{ MPa}$$

Výpočet skutečného napětí v místě 3:

$$\tau_{extr.3} = \tau_{n3} \cdot \alpha_3$$

$$\tau_{extr.3} = 5,14 \text{ MPa} \cdot 1,3$$

$$\tau_{extr.3} = 6,68 \text{ MPa}$$

### Určení součinitele vrubu v místě 3:

Jedná se o součinitel koncentrace v přechodu osazeného dřívku. Určuje se na základě dvou vypočtených hodnot dle geometrie součástí. Pomocí těchto dvou hodnot poté určíme velikost součinitele z grafu.

Určení prvního parametru vrubu:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{50 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = 1,11$$

kde:

$D_1$  [mm] - větší průměr hřídele

$D_2$  [mm] – menší průměr hřídele

Určení druhého parametru vrubu:

$$\frac{r_1}{D_3} = \frac{2 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 0,04$$

kde:

$r_1$  [mm] – poloměr zaoblení



$D_3$  [mm] – menší průměr hřídele

Na základě obrázku 4-17 bylo zvoleno  $\alpha_3 = 1,3$

Přehled výsledků a jejich vyhodnocení:

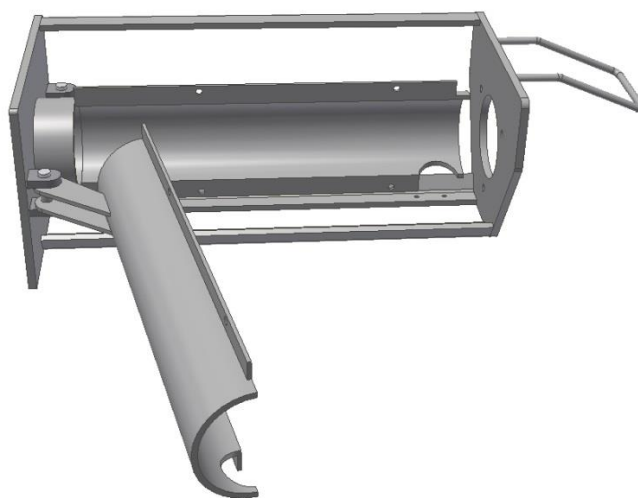
*Tab. 5 Výsledky pevnostního výpočtu*

Označení	$\tau_D$	$\tau_{extr.1}$	$\tau_{extr.2}$	$\tau_{extr.3}$
Jednotka	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Velikost	40	10,44	16,94	6,68
Vyhovuje	ANO	ANO	ANO	ANO

Z tabulky plyne, že všechna kontrolovaná místa vyhovují.

#### 4.5.5 MÍSÍCÍ KOMORA

Při návrhu mísící komory muselo být bráno v potaz, že vnitřek komory musí být z důvodu častého čištění snadno přístupný. Z tohoto důvodu nemohla být použita jednodílná konstrukce, která by toto neumožňovala. Mísící komora je tedy tvořena dvěma polovinami trubky. Na okrajích těchto trubek jsou navařeny plechové lemy, ve kterých jsou otvory pro pojištění komory v uzavřeném stavu. Po stranách komory jsou navařeny plechy, které jsou přes čep, umístěném na rámu, spojeny s rámem a tím umožňují otevírání komory do stran.



*Obr. 4-18 Zjednodušený pohled na způsob otevírání komory*



#### 4.5.6 NÁSYPKA A VÝSYPKA

Násypka slouží k dopravování materiálu do mísiče. Její tvar je navržen tak, aby se do ní snadno vpravoval materiál a aby nedocházelo k jeho úniku mimo zařízení. Skládá se ze dvou částí. První část násypky je tvořena z plechu tloušťky 3 mm, který je ohnutý do tvaru viditelném na obr. 4-19. Druhá část je tvořena z trubky o průměru 60 mm a tloušťce stěny 3 mm. Tyto dvě části jsou k sobě přivařeny a spodním koncem trubky je celá násypka přivařena k rámu mísiče.



*Obr. 4-19 Model násypky*

Výsypka slouží k dopravě promíchané směsi ven z mísiče. Je umístěna na konci mísíci komory a skládá se z trubky o průměru 50 mm a tloušťce stěny 2 mm a plechu o tloušťce 3mm. Tento plech je na trubku navařen. V plechu jsou dále čtyři otvory pro šrouby, přes které je výsypka připevněna k rámu.



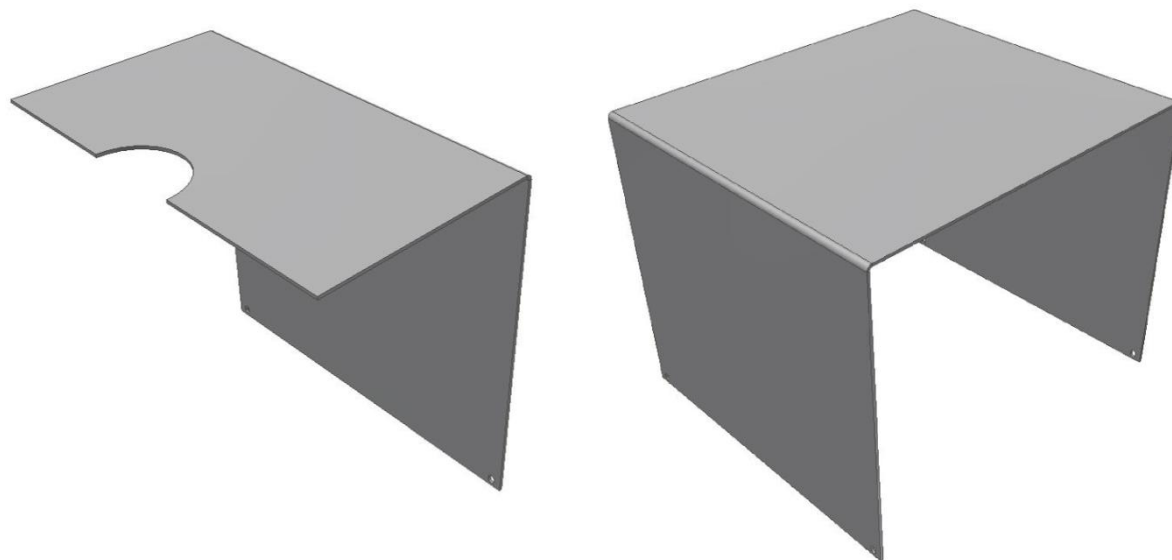
*Obr. 4-20 Model výsypky*

#### 4.5.7 OPLÁŠTĚNÍ

Z bezpečnostních důvodů je potřeba, aby všechny pohyblivé součásti byly opatřeny krytem, aby nemohlo dojít k úrazu. Snadná montáž a demontáž v případě poruchy nebo údržby stroje



jsou hlavní požadavky na opláštění. Proto bylo zvoleno jednoduché plechové opláštění. Jedná se o ohýbaný plech tloušťky 2 mm, který je k rámu připevněn pomocí šroubů. Otvory pro šrouby jsou oválné pro snadnější montáž plechu. V místě násypky bylo kvůli zachování jednoduchosti výroby a montáže třeba udělat kryt dělený.



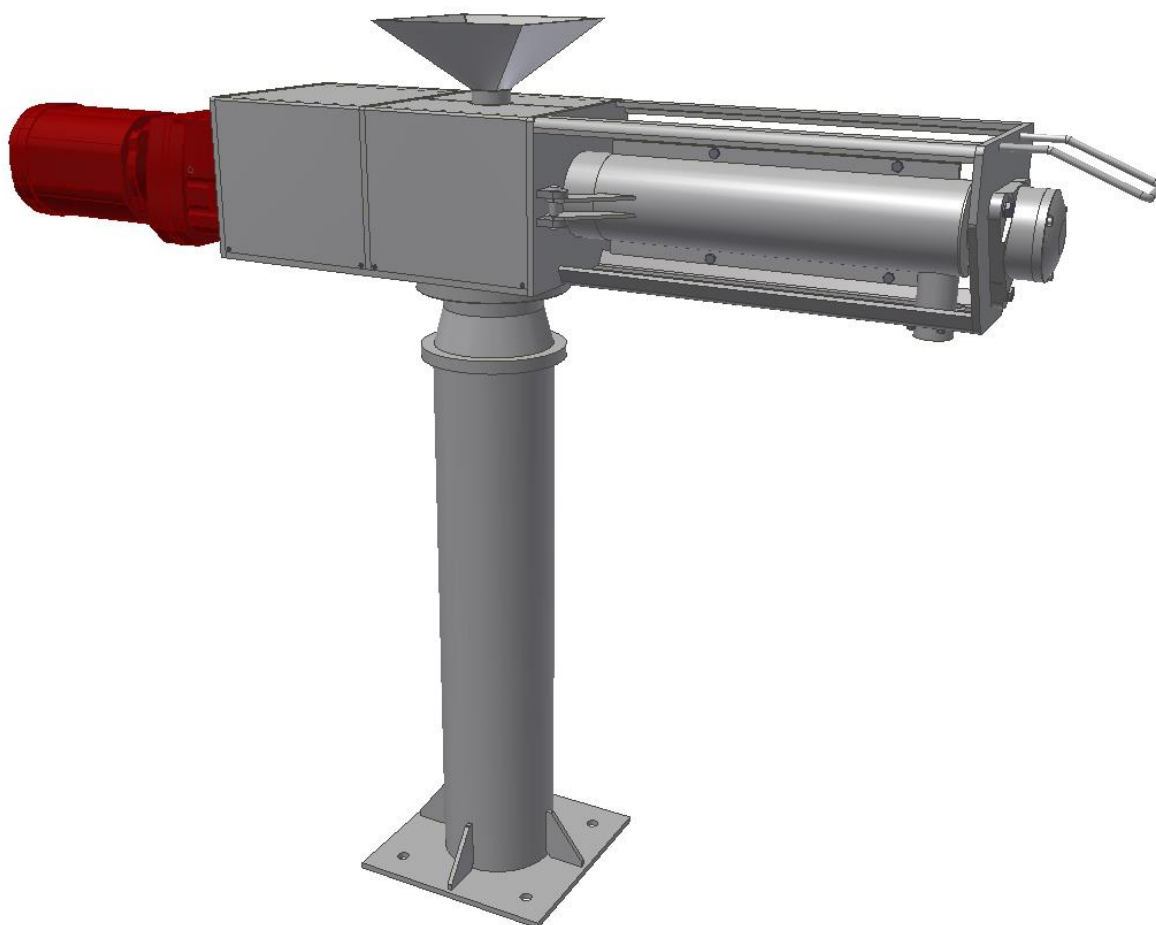
*Obr. 4-21 Opláštění dělené (vlevo) a nedělené (vpravo)*



## ZÁVĚR

Hlavní cíl práce a to tvorba kompletního 3D modelu průběžného mísiče byl splněn. Model byl vytvořen pomocí programu Autodesk Inventor 2013. Byly provedeny základní výpočty, které byly upraveny na míru zadaným hodnotám. Navržené zařízení splňuje zadané požadavky a to hlavně po stránce požadovaného výkonu, který byl stanoven na 1-3t/hod.

Hlavní prvky zařízení – lopatka a mísící hřídel byly zkontrolovány z hlediska pevnosti. Mísící hřídel byla zkontrolována na namáhání kroutícím momentem vyvolaným elektromotorem. Výsledné hodnoty napětí byly porovnány s dovoleným napětím, určeným na základě zvoleného materiálu. K pevnostní analýze lopatky byla využita metoda konečných prvků obsažená jako rozšiřující modul v programu Autodesk Inventor 2013. Výsledkem jsou dvě simulace. Na první je sledováno posunutí lopatky, které dosahuje hodnoty méně jak 0,063 mm. Na druhé simulaci je sledováno výsledné napětí působící na lopatku, které dosahuje hodnoty 179 MPa. Oba prvky splňují z hlediska pevnosti požadavky na jejich zatížení.



*Obr.1 Model celé sestavy*



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HORÁČEK, Milan a Ladislav ZEMČÍK. *Slévárenská technologie* [online]. 2002 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/slev\\_tech.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/slev_tech.pdf)
- [2] Palmer M-Series Premier Line Sand Mixer Models. *Palmer Manufacturing & Supply, Inc* [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.palmermfg.com/mixers/m-series.htm>
- [3] GAJDŮŠEK a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. 1. vydání. Brno: rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988, 277 s. ISBN 55-517-88.
- [4] Hustota pevných látek. *VŠCHT – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 2009 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/uchi/e\\_tabulky/huspevl.htm](http://www.vscht.cz/uchi/e_tabulky/huspevl.htm)
- [5] SEW-EURODRIVE. *DRS Gearmotors* [online]. 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16840011.pdf>
- [6] T.E.A. TECHNIK S.R.O. *Pružné spojky* [online]. 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/get.pdf>
- [7] LEINVEBER, Jan, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-864-9074-2.
- [8] Typ RU : Produkty: HENNLICH. HENNLICH. *HOME: HENNLICH* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-krizova-valeckova-loziska-thk-1202/typ-ru.html>
- [9] THK Technical Support. THK. [ *THK || ČESKÁ REPUBLIKA* ] [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <https://tech.thk.com/en/products/thkdlink.php?id=4697>
- [10] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí: Určeno pro posl. fak. strojní*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-2629-0.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[mm]	výška náboje pružné spojky
b	[mm]	šířka středního dílu náboje pružné spojky
C	[mm]	výška náboje 1 pružné spojky bez odsazení
C <sub>1</sub>	[mm]	výška náboje 2 pružné spojky bez odsazení
c <sub>H</sub>	[-]	součinitel naklonění dopravníku
D	[mm]	vnější průměr mísící hřídele
d	[mm]	průměr hřídele
D <sub>1</sub>	[mm]	průměr mísící hřídele
d <sub>1max.</sub>	[mm]	maximální průměr náboje B pružné spojky
D <sub>2</sub>	[mm]	průměr mísící hřídele
D <sub>3</sub>	[mm]	průměr mísící hřídele
d <sub>max.</sub>	[mm]	maximální průměr náboje A pružné spojky
E	[mm]	šířka středního dílu pružné spojky včetně mezer
F	[mm]	průměr otvoru středního dílu spojky
f <sub>B</sub>	[-]	provozní faktor
F <sub>Ra</sub>	[N]	Přípustné radiální zatížení
G	[mm]	šířka náboje pružné spojky bez odsazení
i	[-]	převodový poměr
L	[mm]	celková délka pružné spojky
L <sub>1</sub>	[mm]	délka náboje pružné spojky
m	[kg]	váha elektromotoru
M <sub>a</sub>	[N·m]	jmenovitý kroutící moment elektromotoru
M <sub>k</sub>	[Nm]	kroutící moment od elektromotoru
n	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky mísícího hřídele
n <sub>a</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	jmenovité otáčky elektromotoru
P <sub>m</sub>	[kW]	jmenovitý výkon elektromotoru
Q	[kg·hod <sup>-1</sup> ]	dopravní výkon
Q <sub>V</sub>	[m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]	objemové množství
r <sub>1</sub>	[mm]	poloměr zaoblení hřídele
r <sub>2</sub>	[mm]	poloměr zaoblení hřídele
s	[mm]	stoupání šnekovice



$s$	[mm]	šířka odsazení pružné spojky
$T_{Kmax}$	[N·m]	maximální kroutící moment pružné spojky
$T_{KN}$	[N·m]	nominální kroutící moment pružné spojky
$T_{KW}$	[N·m]	střídavý kroutící moment pružné spojky
$W_{K1}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v krutu v místě 1
$W_{K2}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v krutu v místě 2
$W_{K3}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v krutu v místě 3
$\alpha_1$	[-]	součinitel koncentrace napětí
$\alpha_2$	[-]	součinitel koncentrace napětí
$\alpha_3$	[-]	součinitel koncentrace napětí
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota přepravovaného materiálu
$\tau_D$	[MPa]	dovolené napětí v krutu
$\tau_{extr.1}$	[MPa]	skutečné napětí v krutu v místě 1
$\tau_{extr.2}$	[MPa]	skutečné napětí v krutu v místě 2
$\tau_{extr.3}$	[MPa]	skutečné napětí v krutu v místě 3
$\tau_{n1}$	[MPa]	nominální napětí v krutu v místě 1
$\tau_{n2}$	[MPa]	nominální napětí v krutu v místě 2
$\tau_{n3}$	[MPa]	nominální napětí v krutu v místě 3
$\Psi$	[-]	součinitel plnění



## SEZNAM PŘÍLOH

A2 – MIS – 00/01

A3 – MIS – 01/01

A4 – LOP – 02/01

A4 – MIS – 03/01

A4 – LOP – 01/02

A4 – LOP – 02/02